

MAGNETIC MEMORY DEVICE

Patent number: JP2002110938
Publication date: 2002-04-12
Inventor: SAITO YOSHIKI; INOMATA KOICHIRO; AMANO MINORU; SUNAI MASAYUKI; NAKAJIMA KENTARO; TAKAHASHI SHIGEKI; KISHI TATSUYA
Applicant: TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO
Classification:
- **International:** H01L27/105; G11C11/14; G11C11/15; H01F10/16; H01F10/26; H01L43/08
- **European:** H01F10/32L2; G11C11/15; H01L21/8246M; H01L27/22
Application number: JP20010157484 20010525
Priority number(s): JP20010157484 20010525; JP20000227320 20000727

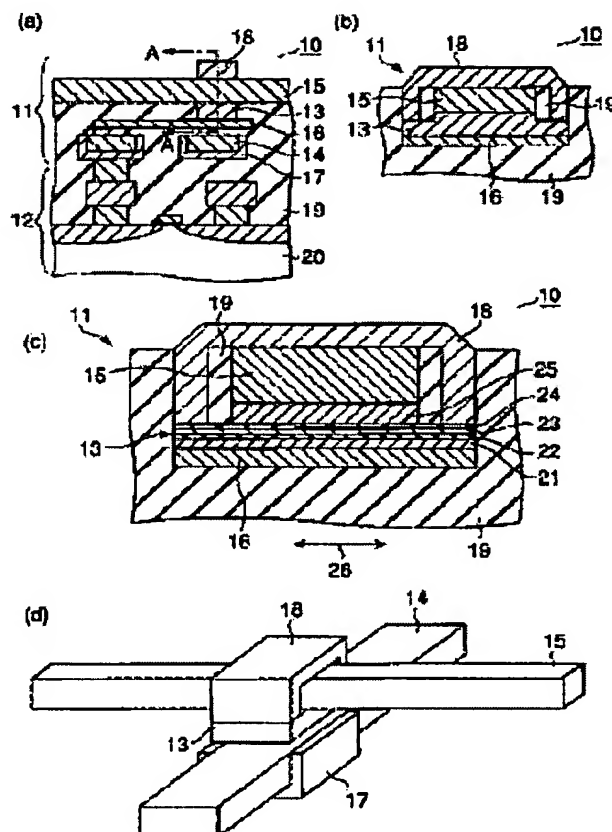
Also published as:



US6556473 (B2)
US2002034094 (A1)

Abstract of JP2002110938

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magnetic memory device which is reduced in power consumption at writing. **SOLUTION:** This magnetic memory includes first and second wirings 14, 15 crossing each other and separated from each other; a magnetoresistive effect film 13 positioned in a region where the first and second wirings 14, 15 cross each other and having a magnetized fixed layer 21, a magnetic recording layer 23, and a nonmagnetic layer 22 interposed between the magnetized fixed layer 21 and the magnetic recording layer 23; and a first magnetic film 18 that includes at least one of a highly saturated magnetized soft magnetic materials which contains cobalt and a metal-nonmetal nanogranular film and has at least a bottom part counterposed to the reverse surface of a surface opposite to the magnetoresistance effect film 13 of the first wiring 15 and a pair of sidewall parts which counterpose both side surfaces of the first wiring 15 in this region.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2002-110938
(P2002-110938A)

(43)公開日 平成14年4月12日(2002.4.12)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード*(参考)
H 0 1 L 27/105		G 1 1 C 11/14	A 5 E 0 4 9
G 1 1 C 11/14			Z 5 F 0 8 3
	11/15	11/15	
H 0 1 F 10/16		H 0 1 F 10/16	
		10/26	

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 18 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2001-157484(P2001-157484)
(22)出願日 平成13年5月25日(2001.5.25)
(31)優先権主張番号 特願2000-227320(P2000-227320)
(32)優先日 平成12年7月27日(2000.7.27)
(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000003078
株式会社東芝
東京都港区芝浦一丁目1番1号
(72)発明者 斉藤 好昭
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内
(72)発明者 猪俣 浩一郎
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内
(74)代理人 100058479
弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

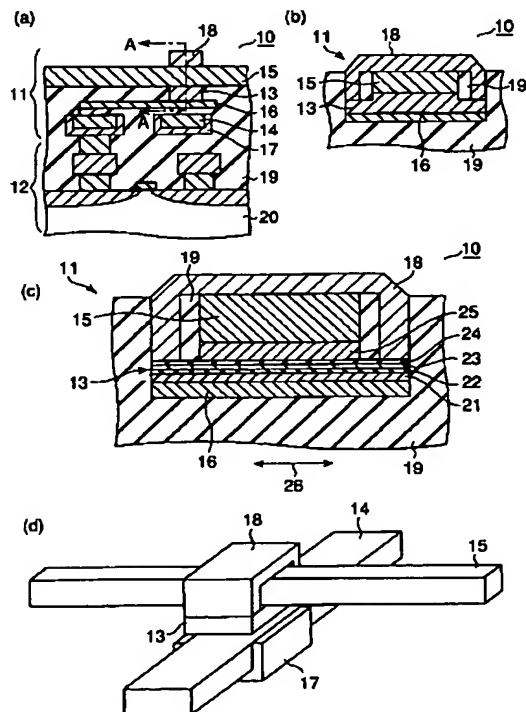
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 磁気記憶装置

(57)【要約】

【課題】書き込み時の消費電力が低減された磁気記憶装置を提供すること。

【解決手段】本発明の磁気記憶装置10は、相互に交差し且つ離間した第1及び第2の配線14、15と、第1及び第2の配線14、15が相互に交差する領域内に位置し、磁化固着層21、磁気記録層23、及び磁気記録層23と磁化固着層21との間に介在する非磁性層22を備えた磁気抵抗効果膜13と、コバルトを含有する高飽和磁化ソフト磁性材料及び金属-非金属ナノグラニュー膜のいずれか一つを含み且つ少なくとも上記領域内で第1の配線15の磁気抵抗効果膜13との対向面の裏面と対向する底部及び第1の配線15の両側面とそれぞれ対向する1対の側壁部を形成した第1の磁性膜18とを具備する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 相互に交差し且つ離間した第 1 及び第 2 の配線と、

前記第 1 及び第 2 の配線が相互に交差する領域内に位置し、磁化固着層、磁気記録層、及び前記磁気記録層と前記磁化固着層との間に介在する非磁性層を備え、前記磁気記録層は前記第 1 及び第 2 の配線のそれぞれに書込電流を流すことにより生じる磁界の方向を第 1 の方向と前記第 1 の方向とは逆方向の第 2 の方向との間で変化させた場合にその磁化の方向を反転させ、前記磁化固着層は前記磁界の方向を前記第 1 の方向と前記第 2 の方向との間で変化させた場合にその磁化の方向を実質的に保持する磁気抵抗効果膜と、

コバルトを含有する高飽和磁化ソフト磁性材料及び金属-非金属ナノグラニューラ膜のいずれか一つを含み且つ少なくとも前記領域内で前記第 1 の配線の前記磁気抵抗効果膜との対向面の裏面と対向する底部及び前記第 1 の配線の両側面とそれぞれ対向する 1 対の側壁部を形成した第 1 の磁性膜とを具備することを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項 2】 相互に交差し且つ離間した第 1 及び第 2 の配線と、

前記第 1 及び第 2 の配線が相互に交差する領域内に位置し、第 1 の磁化固着層、第 2 の磁化固着層、前記第 1 及び第 2 の磁化固着層間に介在する磁気記録層、前記第 1 の磁化固着層と前記磁気記録層との間に介在する第 1 の非磁性層、及び前記第 2 の磁化固着層と前記磁気記録層との間に介在する第 2 の非磁性層を備え、前記磁気記録層は前記第 1 及び第 2 の配線のそれぞれに書込電流を流すことにより生じる磁界の方向を第 1 の方向と前記第 1 の方向とは逆方向の第 2 の方向との間で変化させた場合にその磁化の方向を反転させ、前記第 1 及び第 2 の磁化固着層は前記磁界の方向を前記第 1 の方向と前記第 2 の方向との間で変化させた場合にその磁化の方向を実質的に保持する磁気抵抗効果膜と、

コバルトを含有する高飽和磁化ソフト磁性材料及び金属-非金属ナノグラニューラ膜のいずれか一つを含み且つ少なくとも前記領域内で前記第 1 の配線の前記磁気抵抗効果膜との対向面の裏面と対向する底部及び前記第 1 の配線の両側面とそれぞれ対向する 1 対の側壁部を形成した第 1 の磁性膜とを具備することを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項 3】 前記第 1 の磁性膜の 1 対の側壁部のそれぞれは前記第 1 及び第 2 の非磁性層のうち前記第 1 の磁性膜からより近いものと接していることを特徴とする請求項 2 に記載の磁気記憶装置。

【請求項 4】 Co 元素を含有する高飽和磁化ソフト磁性材料及び金属-非金属ナノグラニューラ膜のいずれか一つを含み且つ少なくとも前記領域内で前記第 2 の配線の前記磁気抵抗効果膜との対向面の裏面と対向する底部及

び前記第 2 の配線の両側面とそれぞれ対向する 1 対の側壁部を形成した第 2 の磁性膜をさらに具備することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか 1 項に記載の磁気記憶装置。

【請求項 5】 前記磁気記録層は前記第 1 の磁性膜の前記 1 対の側壁部間に挟まれた領域の内側に位置していることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか 1 項に記載の磁気記憶装置。

【請求項 6】 前記第 1 の磁性膜の前記第 1 の配線の長手方向に沿った長さは、前記磁気抵抗効果膜の前記第 1 の配線の長手方向に沿った長さの 1.2 倍以上であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか 1 項に記載の磁気記憶装置。

【請求項 7】 前記第 1 の磁性膜は前記高飽和磁化ソフト磁性材料としてコバルトを主成分とするコバルト系合金高透磁率磁性材料を含有し、前記第 1 及び第 2 の配線は銅、タングステン、及びそれらの合金からなる群より選ばれる 1 種を含有するか或いは非磁性層と高飽和磁化ソフト磁性材料層とを備えた多層構造であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか 1 項に記載の磁気記憶装置。

【請求項 8】 前記第 1 の磁性膜は、Co-Fe 合金膜、Co-Fe-Ni 合金膜、Co-(Zr, Hf, Nb, Ta, Ti) 膜、それらのアモルファス膜、及び金属-非金属ナノグラニューラ膜からなる群より選ばれる少なくとも 1 種の薄膜を備えたことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか 1 項に記載の磁気記憶装置。

【請求項 9】 前記非磁性層は非磁性トンネル層であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 8 のいずれか 1 項に記載の磁気記憶装置。

【請求項 10】 前記磁気記憶装置が記憶する情報を読み出すために前記磁気記憶装置に流すセンス電流を制御するセンス電流制御素子をさらに具備することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 9 のいずれか 1 項に記載の磁気記憶装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気記憶装置に関する。

【0002】

【従来の技術】磁性膜を用いた磁気抵抗効果素子は、磁気ヘッドや磁気センサなどとして既に利用されている。また、磁気抵抗効果素子を、磁気記憶装置（磁気抵抗効果メモリ）などとして利用することも提案されている。磁気記憶装置の中でも、強磁性トンネル接合を用いた磁気記憶装置は、不揮発性の記憶が可能であり、10ns 未満の書き込み時間及び読み出し時間、10¹⁵回を超える書き換え回数、並びに DRAM 並みに小さなセルサイズを実現するものとして期待されている。

【0003】そのような強磁性トンネル接合を用いた磁

気記憶装置を実現するには、十分な磁気抵抗変化率が必要である。近年、強磁性トンネル接合では、20%以上の磁気抵抗変化率が得られており、したがって、そのような磁気記憶装置の実現への期待は益々高まっている。

【0004】例えば、強磁性層上に厚さ0.7nm～2.0nmの薄いAl層を成膜した後、その表面を酸素グロー放電または酸素ガスに曝すことによってAl₂O₃からなるトンネルバリア層を形成し、その上に強磁性層をさらに成膜することにより形成される強磁性トンネル接合が提案されている。この強磁性トンネル接合によると、20%以上の磁気抵抗変化率が得られている(J. Appl. Phys. 79, 4724 (1996))。また、強磁性1重トンネル接合としては、1対の強磁性層の一方を反強磁性層と組み合わせ、他方を磁化固着層とした構造も提案されている(特開平10-4227号公報)。

【0005】上述のように、強磁性1重トンネル接合では20%以上の磁気抵抗変化率が得られるようになった。しかしながら、強磁性1重トンネル接合を用いた磁気記憶装置は、FeRAMやフラッシュメモリ等の競合メモリに比べて、書き込み時の消費電力が大きいという問題を有している。

【0006】上記問題に対し、書込配線の周囲に高透磁率材料からなる薄膜を設けた固体磁気記憶装置が提案されている(米国特許第5,659,499号、米国特許第5,956,267号、米国特許第5,940,319号、及び国際特許出願WO00/10172)。これらの磁気記憶装置によれば、配線の周囲に高透磁率膜が設けられているため、磁気記録層への情報書込に必要な電流値を効率的に低減することができる。また、これらの磁気記憶装置によれば、電流によって発生した磁束が高透磁率磁性膜の外部に及ぶことがないため、クロストークも抑制することができる。

【0007】しかしながら、米国特許第5,659,499号が開示する磁気記憶装置では、磁気抵抗効果膜の記録層全体にわたって均一に磁場を印加することができない。また、米国特許第5,956,267号及び米国特許第5,940,319号が開示する磁気記憶装置では、後述するデュアルスピナルブ型2重トンネル接合のように1対の磁化固着層間に磁気記録層を介在させる構造を採用した場合、磁気記録層に効率的に磁場を印加することは困難である。さらに、国際特許出願WO00/10172が開示する磁気記憶装置は、磁気記録層に磁場を印加するのに理想的な構造を有しているが、その製造自体が極めて困難である。

【0008】また、上述した強磁性1重トンネル接合に加え、誘電体中に分散させた磁性粒子を介した強磁性トンネル接合や強磁性2重トンネル接合(連続膜)も提案されている。これら強磁性トンネル接合でも20%以上の磁気抵抗変化率が得られており(Phys. Rev.

B 56 (10), R 5747 (1997)、応用磁気学会誌23, 4-2, (1999)、Appl. Phys. Lett. 73 (19), 2829 (1998))、しかも、強磁性2重トンネル接合によると、希望の出力電圧値を得るために磁気記憶装置に印加する電圧値を高めることにより発生する磁気抵抗変化率の減少を抑制することが可能である。

【0009】しかしながら、強磁性2重トンネル接合を用いた場合も、強磁性1重トンネル接合を用いた場合と同様に書き込み時の消費電力が大きいという問題がある。また、強磁性2重トンネル接合を用いた場合、磁気記録層は1対のトンネルバリア層及び1対の磁化固着層でそれぞれ挟持されるため、上記米国特許が開示する方法を適用したとしても、磁気記録層に電流磁界を効率的に作用させることができない。すなわち、強磁性2重トンネル接合を用いた磁気記憶装置は、書き込み時の消費電力が極めて大きいという問題を有している。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記問題点に鑑みてなされたものであり、書き込み時の消費電力が低減された磁気記憶装置を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は、相互に交差し且つ離間した第1及び第2の配線と、前記第1及び第2の配線が相互に交差する領域内に位置し、磁化固着層、磁気記録層、及び前記磁気記録層と前記磁化固着層との間に介在する非磁性層を備え、前記磁気記録層は前記第1及び第2の配線のそれぞれに書込電流を流すことにより生じる磁界の方向を第1の方向と前記第1の方向とは逆方向の第2の方向との間で変化させた場合にその磁化の方向を反転させ、前記磁化固着層は前記磁界の方向を前記第1の方向と前記第2の方向との間で変化させた場合にその磁化の方向を実質的に保持する磁気抵抗効果膜と、コバルトを含有する高飽和磁化ソフト磁性材料及び金属-非金属ナノグラニューラ膜のいずれか一つを含み且つ少なくとも前記領域内で前記第1の配線の前記磁気抵抗効果膜との対向面の裏面と対向する底部及び前記第1の配線の両側面とそれぞれ対向する1対の側壁部を形成した第1の磁性膜とを具備することを特徴とする磁気記憶装置を提供する。

【0012】また、本発明は、相互に交差し且つ離間した第1及び第2の配線と、前記第1及び第2の配線が相互に交差する領域内に位置し、第1の磁化固着層、第2の磁化固着層、前記第1及び第2の磁化固着層間に介在する磁気記録層、前記第1の磁化固着層と前記磁気記録層との間に介在する第1の非磁性層、及び前記第2の磁化固着層と前記磁気記録層との間に介在する第2の非磁性層を備え、前記磁気記録層は前記第1及び第2の配線のそれぞれに書込電流を流すことにより生じる磁界の方向を第1の方向と前記第1の方向とは逆方向の第2の方

向との間で変化させた場合にその磁化の方向を反転させ、前記第1及び第2の磁化固着層は前記磁界の方向を前記第1の方向と前記第2の方向との間で変化させた場合にその磁化の方向を実質的に保持する磁気抵抗効果膜と、コバルトを含有する高飽和磁化ソフト磁性材料及び金属-非金属ナノグラニュー膜のいずれか一つを含み且つ少なくとも前記領域内で前記第1の配線の前記磁気抵抗効果膜との対向面の裏面と対向する底部及び前記第1の配線の両側面とそれぞれ対向する1対の側壁部を形成した第1の磁性膜とを具備することを特徴とする磁気記憶装置を提供する。

【0013】さらに、本発明は、相互に交差し且つ離間した第1及び第2の配線と、前記第1及び第2の配線が相互に交差する領域内に位置し、第1の磁化固着層、第2の磁化固着層、前記第1及び第2の磁化固着層間に介在する磁気記録層、前記第1の磁化固着層と前記磁気記録層との間に介在する第1の非磁性層、及び前記第2の磁化固着層と前記磁気記録層との間に介在する第2の非磁性層を備え、前記磁気記録層は前記第1及び第2の配線のそれぞれに書込電流を流すことにより生じる磁界の方向を第1の方向と前記第1の方向とは逆方向の第2の方向との間で変化させた場合にその磁化の方向を反転させ、前記第1及び第2の磁化固着層は前記磁界の方向を前記第1の方向と前記第2の方向との間で変化させた場合にその磁化の方向を実質的に保持する磁気抵抗効果膜と、少なくとも前記領域内で前記第1の配線の前記磁気抵抗効果膜との対向面の裏面と対向する底部及び前記第1の配線の両側面とそれぞれ対向する1対の側壁部を形成した第1の磁性膜とを具備し、前記1対の側壁部のそれぞれは前記第1及び第2の非磁性層のうち前記第1の磁性膜からより近いものと接していることを特徴とする磁気記憶装置を提供する。

【0014】加えて、本発明は、相互に交差し且つ離間した第1及び第2の配線と、前記第1及び第2の配線が相互に交差する領域内に位置し、第1の磁化固着層、第2の磁化固着層、前記第1及び第2の磁化固着層間に介在する磁気記録層、前記第1の磁化固着層と前記磁気記録層との間に介在する第1の非磁性層、及び前記第2の磁化固着層と前記磁気記録層との間に介在する第2の非磁性層を備え、前記磁気記録層は前記第1及び第2の配線のそれぞれに書込電流を流すことにより生じる磁界の方向を第1の方向と前記第1の方向とは逆方向の第2の方向との間で変化させた場合にその磁化の方向を反転させ、前記第1及び第2の磁化固着層は前記磁界の方向を前記第1の方向と前記第2の方向との間で変化させた場合にその磁化の方向を実質的に保持する磁気抵抗効果膜と、少なくとも前記領域内で前記第1の配線の前記磁気抵抗効果膜との対向面の裏面と対向する底部及び前記第1の配線の両側面とそれぞれ対向する1対の側壁部を形成した第1の磁性膜とを具備し、前記磁気記録層は前記

第1の磁性膜の前記1対の側壁部に位置していることを特徴とする磁気記憶装置を提供する。

【0015】なお、本発明において、第1の磁性膜は、第1の配線に電流を流した際に、それにより生じる磁力線のための磁束通路を形成する。また、本発明の磁気記憶装置は、好ましくは非磁性層が非磁性トンネル層（トンネルバリア層）である強磁性トンネル接合を有するものであるが、非磁性層がトンネル層ではない所謂GMR（巨大磁気抵抗）効果膜を有するものも包含する。

【0016】本発明において、磁化方向が固定された磁化固着層、非磁性トンネル層、及び磁化方向を反転可能な磁気記録層が順次積層された構造を有する強磁性トンネル接合を規定する場合、その強磁性トンネル接合は1重以上の強磁性トンネル接合を有していること意味する。また、同様に、磁化方向が固定された第1の磁化固着層、第1の非磁性トンネル層、磁化方向を反転可能な磁気記録層、磁化方向が固定された第2の磁化固着層、及び第2の非磁性トンネル層が順次積層された構造を有する強磁性トンネル接合を規定する場合、その強磁性トンネル接合は2重以上の強磁性トンネル接合を有していること意味する。

【0017】本発明において、磁気抵抗効果膜が第1及び第2の非磁性層を有している場合、これら非磁性層のいずれかを介して、第1の磁性膜と磁気記録層とを磁氣的に接続することができる。これは、例えば、以下の構造を採用することにより実現可能である。すなわち、第1の磁性膜が形成する上記1対の側壁部の対向面間の距離に対して、第1の非磁性層及び磁気記録層の幅をより広くし且つ第1の磁化固着層の幅をより狭くして、第1の非磁性層の主面を上記1対の側壁部に対応して部分的に露出させる。この場合、第1の非磁性層のそれら露出部と上記1対の側壁部とをそれぞれ接触させると、第1の非磁性層を介して磁性膜と磁気記録層とが磁氣的に接続されるため、第1の配線に電流を流すことによって発生し且つ第1の磁性膜の中を通る磁束は磁気記録層に効率的に印加される。したがって、第1の配線に流す電流量がより少ない場合であっても情報の書き込みが可能となり、情報の書き込みに要する消費電力を減少させることができる。

【0018】また、本発明において、磁気抵抗効果膜が第1及び第2の非磁性層を有している場合、例えば以下の構造を採用することでも、磁束通路を形成している磁性膜と磁気記録層とを磁氣的に接続することができる。すなわち、第1の磁化固着層、第1の非磁性層、及び磁気記録層の幅をより狭くして、第1の磁性膜が形成する上記1対の側壁部の対向面間の距離以下とする。この場合、それら側壁部に磁気記録層を位置させれば、磁性膜と磁気記録層とを磁氣的に接続することができる。したがって、第1の配線に流す電流量がより少ない場合であっても情報の書き込みが可能となり、情報の書き込み

に要する消費電力を減少させることができる。

【0019】本発明において、第1の磁性膜の第1の配線の長手方向に沿った長さは、磁気抵抗効果膜の第1の配線の長手方向に沿った長さの1.2倍以上であることが好ましく、1.5倍以上であることがより好ましい。また、同様に、第2の磁性膜の第2の配線の長手方向に沿った長さは、磁気抵抗効果膜の第2の配線の長手方向に沿った長さの1.2倍以上であることが好ましく、1.5倍以上であることがより好ましい。この場合、磁気記録層により効果的に磁場を印加することができる。

【0020】第1及び第2の配線は、例えば、銅、タングステン、及びそれらの合金からなる群より選ばれる1種を含有することができる。或いは、第1及び第2の配線は、Cu層とCoFeNi層との積層構造のように、非磁性層と高飽和磁化ソフト磁性材料層とを備えた多層構造とすることができる。それら配線が銅を主成分とする材料で構成され且つ第1及び第2の磁性膜がコバルトを主成分とする合金系である場合、銅とコバルトとは殆ど相互に固溶しない。そのため、通常の熱処理プロセスを実施した場合や配線に過大な電流を流した場合でも、配線に含まれる銅と磁性膜に含まれるコバルトとが相互拡散することはない。したがって、この場合、配線と磁性膜との間にバリアメタルを設ける必要がない。

【0021】第1及び第2の磁性膜は、Co-Fe合金膜、Co-Fe-Ni合金膜、Co-(Zr, Hf, Nb, Ta, Ti)膜、(Co, Fe, Ni)-(Si, B)-(P, Al, Mo, Nb, Mn)系などのアモルファス材料膜、及び(Fe, Co)-(B, Si, Hf, Zr, Sm, Ta, Al)-(F, O, N)系などの金属-非金属ナノグラニユラ膜等で構成することができる。特に、それら磁性膜は、上記のうち、Co元素を含有する高飽和磁化ソフト磁性材料膜や(Fe, Co)-(B, Si, Hf, Zr, Sm, Ta, Al)-(F, O, N)系などの金属-非金属ナノグラニユラ膜で構成するとより好ましい。

【0022】磁化固着層及び磁気記録層は、それぞれ、Fe、Co、Ni、それらの合金、及びNiMnSbやPtMnSbやCo₂MnGeなどのハーフメタル等を含有することが好ましい。磁気記録層の飽和磁化B_sは5kGよりも大きいことが好ましい。また、非磁性トンネル層の材料には、Al₂O₃、AlN、MgO、SiO₂、GaO、LaAlO₃、MgF₂、及びCaF₂などを用いることができる。

【0023】本発明において、第2の配線の周囲にも第1の配線の周囲に設けたのと同様の磁性膜を設けることが好ましい。また、磁性膜は、強磁性トンネル接合の位置だけでなく、配線全体にわたって延在するように設けることが好ましい。

【0024】本発明において、磁性膜を設けた配線の長手方向に垂直な断面の寸法に関し、磁性膜の開口幅方向

の長さを l_1 とし、それに垂直な方向の長さを l_2 とした場合、アスペクト比 l_2/l_1 は1より大きいことが好ましい。この場合、電流磁界がより強くなる。このアスペクト比 l_2/l_1 は、2より大きく且つ5より小さいことがより好ましい。

【0025】本発明の磁気記憶装置は、この磁気記憶装置が記憶する情報を読み出すためにこの磁気記憶装置に流すセンス電流を制御するセンス電流制御素子をさらに有することができる。このセンス電流制御素子としては、トランジスタやダイオードを用いることができる。

【0026】

【発明の実施の形態】以下、本発明について図面を参照しながらより詳細に説明する。なお、各図において同様の部材には同一の参照符号を付し、重複する説明は省略する。図1(a)は本発明の第1の実施形態に係る磁気記憶装置を概略的に示す断面図である。図1(b)は図1(a)に示す磁気記憶装置のA-A線に沿った部分断面図であり、図1(c)は図1(b)に示す構造を拡大して描いた断面図である。また、図1(d)は、図1(a)に示す磁気記憶装置の一部を概略的に示す斜視図である。

【0027】図1(a)～(d)に示す磁気記憶装置10は、MRAM(Magnetic Random Access Memory)であって、図1(a)に示すように、磁気記憶素子11と磁気記憶素子11に流すセンス電流を制御するセンス電流制御素子であるトランジスタ12とで主に構成されている。

【0028】磁気記憶素子11は、強磁性2重トンネル接合13を有している。強磁性2重トンネル接合13は、直交する配線14、15間の交差部に位置しており、その下端は配線16を介してトランジスタ12と接続されている。また、配線14、15の周囲には、それぞれ、磁性膜17、18が設けられている。なお、本実施形態において、磁性膜18は高飽和磁化ソフト磁性材料で構成されている。また、参照番号19は層間絶縁膜を示し、参照番号20は基板を示し、両矢印26は磁化容易軸を示している。

【0029】強磁性2重トンネル接合13は、配線16側から、磁化固着層21、トンネルバリア層22、磁気記録層23、トンネルバリア層24、及び磁化固着層25を順次積層した構造を有している。磁化固着層25の幅は、磁化固着層21、トンネルバリア層22、磁気記録層23、及びトンネルバリア層24の幅よりも狭く、トンネルバリア層24の配線15を挟んで左右に位置する上面をそれぞれ露出させている。磁化固着層25側で開口した磁性膜18の両端部は、トンネルバリア層24の露出した上面にそれぞれ接触している。すなわち、磁性膜18とトンネルバリア層24とは磁気的に接続されており、磁性膜18と磁気記録層23とはトンネルバリア層24を介して磁気的に接続されている。

【0030】磁性膜18と磁気記録層23との間に磁化固着層25が介在する場合、磁性膜18と磁化固着層25とが磁氣的に接続されてしまう。そのため、磁気記録層23に電流磁界を有効に作用させることができない。それに対し、図1(c)に示す構造を採用した場合、磁性膜18と磁気記録層23とはトンネルバリア層24のみを介して接続されているため、磁気記録層23に電流磁界を有効に作用させることが可能となる。

【0031】なお、このような構造によると、消費電力を約1/5程度以下にまで低減可能であることが確認されている。また、消費電力を低減する原理については磁性膜18に関してのみ説明したが、磁性膜17についても同様である。

【0032】図1(a)～(d)を参照して説明した構造の代わりに図2(a), (b)に示す構造を採用することもできる。図2(a), (b)は、それぞれ、図1(a)～(d)に示す構造の変形例を概略的に示す断面図である。

【0033】図2(a)に示す磁気記憶装置10において、磁化固着層25の幅は磁性膜18の開口幅よりも狭く、磁化固着層25は磁性膜18の両側壁部間に位置している。このような構造でも、磁気記録層23に電流磁界を有効に作用させることができる。

【0034】図2(b)に示す磁気記憶装置10においても、磁化固着層25の幅は磁性膜18の開口幅よりも狭いが、磁気記録層23は磁性膜18の両側壁部間に位置している。このような構造では、磁気記録層23に電流磁界をより有効に作用させることができる。また、この構造によると、磁気記録層23は磁性膜18の両側壁部間に位置しているため、隣り合う2つの記憶セルの一方に書込磁界を印加した際に、その書込磁界が他方のセルの磁気記録層23に与える影響が低減される。したがって、図2(b)に示す構造によると、書き込み時の低消費電力化が実現されるのに加え、クロストークをより有効に防止することもできる。

【0035】第1の実施形態において、磁性膜17, 18に用いる高飽和磁化ソフト磁性材料の飽和磁化 B_s は5kGよりも大きいことが好ましい。飽和磁化 B_s は5kGよりも大きい場合、消費電力を低減する効果が顕著に現れる。

【0036】また、配線14の周囲に設ける磁性膜17の配線14の長手方向に沿った長さは、磁気抵抗効果膜13の配線14の長手方向に沿った長さよりも長いことが好ましい。これについては、図3を参照しながら説明する。

【0037】図3は、磁気抵抗効果膜13の配線14の長手方向に沿った長さ L_1 に対する配線14の周囲に設ける磁性膜17の配線14の長手方向に沿った長さ L_2 の比 L_2/L_1 と、磁気記録層23の位置における磁界強度 H_x との関係を示すグラフである。なお、このグラフ

はシミュレーションにより得られたものであり、図中、横軸は比 L_2/L_1 を示し、縦軸は磁界強度 H_x を示している。

【0038】図3に示すように、比 L_2/L_1 がより大きい場合に、より高い磁界強度 H_x が得られている。また、比 L_2/L_1 が或る程度まで増加すると磁界強度 H_x の上昇は飽和する傾向にある。磁気記録層23により効果的に磁場を印加するには、比 L_2/L_1 は1.2以上であることが好ましく、1.5以上であることがより好ましい。また、同様に、磁気抵抗効果膜13の配線15の長手方向に沿った長さ L_3 に対する磁性膜18の配線15の長手方向に沿った長さ L_4 の比 L_4/L_3 は1.2以上であることが好ましく、1.5以上であることがより好ましい。この場合、磁気記録層23により効果的に磁場を印加することができ、消費電力を低減する効果がより顕著となる。

【0039】磁性膜18とトンネルバリア層24とは接触していることが好ましい。しかしながら、磁性膜18とトンネルバリア層24とが磁氣的に接続され、それにより、磁性膜18と磁気記録層23との磁氣的な接続が達成されるのであれば、磁性膜18とトンネルバリア層24とは接触していなくてもよい。そのような磁氣的な接続は、通常、磁性膜18とトンネルバリア層24との間の距離が0.1 μ m以下、好ましくは0.05 μ m以下であれば可能である。

【0040】また、書き込み時間が数nsecと短いため(高周波数で使用するため)、表皮厚さ(skin depth) δ は、サブミクロン以上であることが好ましい。なお、表皮厚さ δ 、比抵抗 ρ 、周波数 ω 、及び透磁率 μ の間には、下記等式に示す関係が成り立つ。

$$\delta = (2\rho / \omega\mu)^{1/2}$$

したがって、高飽和磁化ソフト磁性材料の比抵抗は、20 $\mu\Omega\cdot$ cm以上であることが好ましく、50 $\mu\Omega\cdot$ cm以上であることがより好ましい。

【0041】高飽和磁化ソフト磁性材料を含有する磁性膜17, 18は、Co-Fe合金膜、及びCo-Fe-Ni合金膜のような合金膜; Co-(Zr, Hf, Nb, Ta, Ti)膜や(Co, Fe, Ni)-(Si, B)-(P, Al, Mo, Nb, Mn)系などのアモルファス材料膜; 並びに(Fe, Co)-(B, Si, Hf, Zr, Sm, Ta, Al)-(F, O, N)系などの金属-非金属ナノグラニユラ膜等で構成することができる。これら材料を用い、構成元素の比を適宜調節することにより、磁歪をほぼゼロにすることができ、保磁力が小さくソフト化された磁性膜17, 18を得ることができる。なお、磁性膜17, 18の断面形状は図1

(a)～(d)に示す形状に限られるものではなく、種々の変形が可能である。

【0042】磁性膜17, 18に含まれる高飽和磁化ソフト磁性材料としてコバルトを主成分とするコバルト系

合金を用いるのとともに、配線14、15の材料として高電流密度に対応可能な銅を主成分とする材料を用いることが好ましい。この場合、配線14、15と磁性膜17、18との間でそれらを構成する材料が相互拡散するのを防止することができる。したがって、熱的安定性が向上し、経時劣化も抑制することができる。

【0043】磁化固着層21、25は、それぞれ強磁性層で構成することができる。この強磁性層を構成する材料は強磁性を示すものであれば特に制限はなく、Fe、Co、及びNiなどの金属；それらの合金；スピン分極率の大きいマグネタイト（ Fe_3O_4 ）、 CrO_2 、及び R XMnO_{3-y} （Rは希土類元素を示し、XはCa、Ba、及びSrの少なくとも1種の元素を示す）などの酸化物；並びにNiMnSb及びPtMnSbなどのホイスラー合金等を挙げることができる。この強磁性層の膜厚は、超常磁性にならない程度に厚いことが必要であり、0.4nm以上であることが好ましい。

【0044】この強磁性層には、Fe-Mn、Pt-Mn、Pt-Cr-Mn、Ni-Mn、Ir-Mn、NiO、及び Fe_2O_3 などからなる反強磁性膜を積層して磁化の方向を固定することが好ましい。また、磁化固着層21、25として、強磁性層と非磁性層との積層膜を用いてもよい。そのような積層膜として、強磁性層／非磁性層／強磁性層の三層膜を用いる場合、非磁性層を介して強磁性層間で反強磁性的な相互作用を生じさせることが好ましい。

【0045】特に、強磁性膜上にCo（Co-Fe）／Ru／Co（Co-Fe）やCo（Co-Fe）／Ir／Co（Co-Fe）などの積層膜を介してFe-Mn、Pt-Mn、Pt-Cr-Mn、Ni-Mn、Ir-Mn、NiO、及び Fe_2O_3 などからなる反強磁性膜を設けた構造を採用することにより、磁化固着層21、25の磁化の方向が電流磁界に影響されにくくなる。すなわち、強磁性層の磁化の方向を強固に固定することができる。

【0046】磁気記録層23の長さLと幅Wとの比L/Wは1.5以上であることが好ましく、2以上であることがより好ましいが、図1(a)～(d)に示す構造を採用した場合には比L/Wが1であっても単磁区化により高密度化が可能となる。また、磁気記録層23は、その長さ方向に一軸異方性が付与されていることが好ましく、その長さ方向（磁化容易軸方向）の両端部でトンネルバリア層24を介して磁性膜18と接続されていることが好ましい。

【0047】磁気記録層23に用いる材料は強磁性を示すものであれば特に制限はなく、Fe、Co、及びNiなどの金属；それらの合金；スピン分極率の大きいマグネタイト（ Fe_3O_4 ）、 CrO_2 、及び R XMnO_{3-y} （Rは希土類元素を示し、XはCa、Ba、及びSrの少なくとも1種の元素を示す）などの酸化物；並び

にNiMnSb及びPtMnSbなどのホイスラー合金等を挙げることができる。この強磁性層の膜厚は、超常磁性にならない程度に厚いことが必要であり、0.4nm以上であることが好ましい。

【0048】磁気記録層23は、単層構造であってもよく、積層構造であってもよい。磁気記録層23を積層構造とする場合、例えば、ソフト強磁性層／強磁性層の二層膜や、強磁性層／ソフト強磁性層／強磁性層の三層膜とすることができる。

【0049】また、磁気記録層23を強磁性層／非磁性層／強磁性層の三層膜とし、それら強磁性層が非磁性層を介して反強磁性的に或いは弱い強磁性的に相互作用した構造を採用することもできる。この場合、磁気記録層23に電流磁界を作用させる際に磁気記録層23から磁化固着層21、25への漂遊磁界（stray field）の影響がなくなるのに加え、メモリセル幅をサブミクロン以下とした場合でも、所定の電流磁界を生じさせるのに要する消費電力が反磁界により増大するのを抑制することができる。この構造を採用する場合、磁性膜18側の強磁性層によりソフトな層を用いるか或いはその膜厚をより厚くすることが好ましい。また、そのソフトな層として、上述したのと同様に、ソフト強磁性層／強磁性層の二層膜や、強磁性層／ソフト強磁性層／強磁性層の三層膜を用いることができる。

【0050】上述した磁化固着層21、25及び磁気記録層23に用いる強磁性層は、上述した磁性体に加え、Ag、Cu、Au、Al、Mg、Si、Bi、Ta、B、C、O、N、Pd、Pt、Zr、Ir、W、Mo、及びNbなどの非磁性元素を強磁性を失わない範囲で含有することができる。また、上述した磁化固着層21、25に用いる強磁性層は膜面に平行な一方向異方性を有することが好ましく、磁気記録層23に用いる強磁性層は膜面に平行な一軸異方性を有することが好ましい。この強磁性層の厚さは、0.1nm～100nmであることが好ましく、より薄いことが望ましい。磁気記憶装置10を作製する上では、強磁性層の厚さは10nm以下であることが好ましい。

【0051】トンネルバリア層22、24の材料としては、 Al_2O_3 、AlN、MgO、 SiO_2 、MgO、 LaAlO_3 、 MgF_2 、 CaF_2 、 SrTiO_2 、及びAl LaO_3 などの誘電体或いは絶縁体を用いることができる。これら材料には、酸素、窒素、或いはフッ素欠損が存在していてもよい。

【0052】上述した磁気記憶装置10は、例えば、表面領域にトランジスタ12等が形成された基板20上に形成することができる。そのような基板20の材料に特に制限はなく、Si、 SiO_2 、 Al_2O_3 、スピネル、及びAlNなどを用いることができる。また、磁気記憶装置10は保護層や下地層を介して基板上に形成することが好ましい。そのような保護層或いは下地層に用いる

材料としては、Ta、Ti、Pt、Pd、Au、Ti/Pt、Ta/Pt、Ti/Pd、Ta/Pd、Cu、Al-Cu、及びW等を挙げることができる。この磁気記憶装置10は、各種スパッタリング法、蒸着法、及び分子線エピタキシャル法などの通常の薄膜形成技術を用いて製造することができる。

【0053】以上説明した磁気記憶装置10の回路図を図4に示す。図4は、本発明の第1の実施形態に係る磁気記憶装置10の回路構成の一例を示す回路図である。図4において、図1(a)～(d)に示す磁気記憶装置10の配線15はビット線として用いられ、配線14はワード線として用いられている。また、図4において、参照番号27はワード線を示し、参照番号28はビット線を示し、参照番号29は行デコードを示し、参照番号30は列デコードを示し、参照番号31はセンスアンプを示している。図1(a)～(d)に示す磁気記憶装置10は、例えば、このような回路構成をとることができる。

【0054】図1(a)～(c)に示す磁気記憶素子11を用いた場合、図5に示す回路構成でも磁気記憶装置を実現可能である。図5は、本発明の第1の実施形態に係る磁気記憶装置10の回路構成の他の例を示す回路図である。また、図6は、図5に示す回路構成を採用した場合の磁気記憶素子11の構造の一例を概略的に示す斜視図である。図5及び図6に示すように、強磁性2重トンネル接合13とダイオード32とを直列接続し、ワード線14とビット線15との交差部でそれらに接続した構造を採用することも可能である。

【0055】次に、本発明の第2の実施形態について説明する。図7(a)は本発明の第2の実施形態に係る磁気記憶装置を概略的に示す断面図であり、図7(b)は図7(a)に示す磁気記憶装置のB-B線に沿った部分断面図である。本実施形態に係る磁気記憶装置10では、第1の実施形態に係る磁気記憶装置10とは異なり、磁性膜17、18は強磁性2重トンネル接合13の位置だけでなく配線14、15の全体にわたって形成されている。このような構造を採用した場合、磁性膜17、18と強磁性2重トンネル接合13との位置合わせが容易になる。

【0056】次に、本発明の第3の実施形態について説明する。図8(a)は本発明の第3の実施形態に係る磁気記憶装置を概略的に示す断面図であり、図8(b)は図8(a)に示す磁気記憶装置のC-C線に沿った部分断面図である。本実施形態に係る磁気記憶装置10では、第1の実施形態に係る磁気記憶装置10とは異なり、磁性膜17は配線16の下方だけでなく上方にも設けられている。このような構造を採用した場合、配線14からの電流磁界をより効率的に強磁性2重トンネル接合13に作用させることができる。

【0057】次に、本発明の第4の実施形態について説

明する。図9(a)は本発明の第4の実施形態に係る磁気記憶装置を概略的に示す断面図であり、図9(b)は図9(a)に示す磁気記憶装置のD-D線に沿った部分断面図である。本実施形態に係る磁気記憶装置10では、第1の実施形態に係る磁気記憶装置10とは異なり、磁性膜17、18は強磁性2重トンネル接合13の位置だけでなく配線14、15の全体にわたって形成されている。このような構造を採用した場合、磁性膜17、18と強磁性2重トンネル接合13との位置合わせが容易になる。また、本実施形態に係る磁気記憶装置10では、第1の実施形態に係る磁気記憶装置10とは異なり、磁性膜17は配線16の下方だけでなく上方にも設けられている。このような構造を採用した場合、配線14からの電流磁界をより効率的に強磁性2重トンネル接合13に作用させることができる。

【0058】次に、本発明の第5の実施形態について説明する。図10は、本発明の第5の実施形態に係る磁気記憶装置の一部を概略的に示す断面図である。本実施形態に係る磁気記憶装置10では、第1の実施形態に係る磁気記憶装置10とは異なり、配線15と磁性膜18とは直接には接触しておらず、それらの間に誘電体膜或いは絶縁膜19が介在している。このように、配線15と磁性膜18とは電氣的に接触していてもよく、或いは非接触であってもよい。

【0059】次に、本発明の第6の実施形態について説明する。図11は、本発明の第6の実施形態に係る磁気記憶装置の一部を概略的に示す断面図である。第1～第5の実施形態に係る磁気記憶装置10では電流配線とビット線とを兼ねた配線15を用いたのに対し、本実施形態に係る磁気記憶装置10では電流配線33とビット線34とがそれぞれ独立して設けられる。上述した原理を利用すると、強磁性2重トンネル接合13に効率的に電流磁界を作用させることができるため、このような構造も可能である。

【0060】以上説明した第1～第6の実施形態では、磁化固着層25の幅を、磁化固着層21、トンネルバリア層22、磁気記録層23、及びトンネルバリア層24の幅よりも狭くし、トンネルバリア層24の配線15を挟んで左右に位置する上面をそれぞれ露出させ、その露出面を利用して磁性膜18と磁気記録層23とを磁氣的に接続した。これに対し、以下に説明する第7の実施形態では、磁化固着層21、トンネルバリア層22、磁気記録層23、トンネルバリア層24、及び磁化固着層25の全てが同一の幅を有するように形成される。

【0061】図12は、本発明の第7の実施形態に係る磁気記憶装置の一部を概略的に示す断面図である。本実施形態に係る磁気記憶装置10では、第1の実施形態に係る磁気記憶装置10とは異なり、磁化固着層21、トンネルバリア層22、磁気記録層23、トンネルバリア層24、及び磁化固着層25の全てが同一の幅を有する

ように形成される。そのため、第1～第6の実施形態と同様の方法では、磁性膜18と磁気記録層23とを磁気的に接続することはできない。

【0062】そこで、本実施形態では、磁性膜18の開口幅を強磁性2重トンネル接合13の幅以上としている。このような構造によると、磁性膜18の両端部と磁気記録層23との間に磁化固着層25は介在していないため、磁性膜18と磁気記録層23との磁気的な接続が磁化固着層25によって妨げられることがない。したがって、本実施形態によると、磁気記録層に電流磁界を効率的に作用させることができ、情報の書き込みに要する消費電力を低減することが可能となる。

【0063】本実施形態において、磁性膜18の両端部と磁気記録層23との距離は、磁性膜18と磁気記録層23との磁気的な接続が達成されるのであれば特に制限はないが近いほど好ましい。通常、磁性膜18の両端部と磁気記録層23との距離は、 $0.05\mu\text{m}$ 以下であれば十分である。

【0064】次に、本発明の第8の実施形態について説明する。図13(a)は本発明の第8の実施形態に係る磁気記憶装置を概略的に示す断面図であり、図13

(b)は図13(a)に示す磁気記憶装置のE-E線に沿った部分断面図である。本実施形態に係る磁気記憶装置10は、磁性膜17が配線14の側面に設けられずに底面にのみ設けられている点で第7の実施形態に係る磁気記憶装置10とは異なっている。

【0065】センス電流制御素子としてCMOSトランジスタ12を用いた場合、強磁性2重トンネル接合13の幅(ビット線15に平行な方向の寸法)をW、長さ

(ワード線14に平行な方向の寸法)をLとすると、通常、配線14の長手方向で隣り合う強磁性2重トンネル接合13間の距離は幅Wとほぼ等しいのに対し、配線15の長手方向で隣り合う強磁性2重トンネル接合13同士は幅Wのほぼ3倍もの距離を隔てることとなる。すなわち、そのような磁気記憶装置において、隣り合う強磁性2重トンネル接合13間の距離は、幅方向に関しては比較的短いのに対し、長さ方向に関しては十分に長い。

【0066】それゆえ、配線14の長手方向で隣り合う強磁性2重トンネル接合13間のクロストークは考慮する必要があるが、配線15の長手方向で隣り合う強磁性2重トンネル接合13間のクロストークは必ずしも考慮する必要はない。したがって、このような場合は、図13(a)、(b)に示すように、磁性膜18を配線15の側面及び底面に設け且つ磁性膜17を配線14の側面に設けずに底面のみに設けるだけで、クロストークを生ずることなく強磁性2重トンネル接合13に対して効率的に電流磁界を作用させることができる。

【0067】図13(a)、(b)に示す磁気記憶装置においては、強磁性2重トンネル接合13に対してより効率的に電流磁界を作用させるために、図14(a)、

(b)及び図15(a)～(c)に示す構造を採用してもよい。図14(a)、(b)は、それぞれ、本発明の第8の実施形態に係る磁気記憶装置の配線14及び磁性膜17の構造の例を概略的に示す断面図である。また、図15(a)～(c)は、それぞれ、本発明の第8の実施形態に係る磁気記憶装置の配線15及び磁性膜18の構造の例を概略的に示す断面図である。

【0068】図14(a)並びに図15(a)及び(c)において、配線14と磁性膜17並びに配線15と磁性膜18は、それぞれ2重積層構造を構成している。また、図14(b)及び図15(b)において、配線14と磁性膜17並びに配線15と磁性膜18は、それぞれ3重積層構造を構成している。このように、配線と磁性膜とが多重積層構造を構成する場合、一重積層構造を採用した場合に比べて、強磁性2重トンネル接合13に対してより効率的に電流磁界を作用させることができる。

【0069】以上説明した第1～第8の実施形態では、強磁性2重トンネル接合を有する磁気記憶装置に所定の構造を採用することにより、書き込み時の消費電力を低減することについて説明した。以下に説明する第9の実施形態では、所定の材料で構成された磁性膜を用いることにより、強磁性1重トンネル接合を有する磁気記憶装置の書き込み時の消費電力を低減する図16は、本発明の第9の実施形態に係る磁気記憶装置の一部を概略的に示す断面図である。本実施形態に係る磁気記憶装置10は、磁気記憶素子11の構造が異なること以外は、第1の実施形態に係る磁気記憶装置10と同様の構造を有している。すなわち、本実施形態に係る磁気記憶装置10は、磁化固着層21、トンネルバリア層22、及び磁気記録層23を順次積層した構造を有する強磁性1重トンネル接合35を有している。強磁性1重トンネル接合35上にはビット線34が形成されており、ビット線34上には、絶縁膜19を介して磁性膜18で覆われた電流配線33が形成されている。なお、強磁性1重トンネル接合35の下方には、電流配線33及びビット線34と直交するように配線が設けられており、この配線にも磁性膜が設けられている。

【0070】本実施形態において、磁性膜18は、Co元素を含有する高飽和磁化ソフト磁性材料膜や金属-非金属ナノグラニューラ膜で構成される。このような薄膜を用いた場合、磁気記録層23への情報の書き込みに要する消費電力を低減することができる。

【0071】磁性膜18を構成するCo元素を含有する高飽和磁化ソフト磁性材料膜としては、Co-Fe合金膜やCo-Fe-Ni合金膜などの合金膜；並びにCo-(Zr, Hf, Nb, Ta, Ti)膜や(Co, Fe, Ni)-(Si, B)-(P, Al, Mo, Nb, Mn)膜などのアモルファス材料膜等を用いることができる。また、磁性膜18を構成する金属-非金属ナノグ

ラニユラ膜としては、(Fe, Co) - (B, Si, Hf, Zr, Sm, Ta, Al) - (F, O, N) 系などの金属-非金属ナノグラニユラ膜を用いることができる。これら材料を用い、構成元素の比を適宜調節することにより、磁歪をほぼゼロにすることができ、保磁力が小さくソフト化された磁性膜 18 を得ることができる。

【0072】なお、第9の実施形態では、磁性膜を所定の材料で構成することにより、強磁性1重トンネル接合を有する磁気記憶装置の書き込み時の消費電力を低減することについて説明したが、その材料を用いれば、強磁性2重トンネル接合を有する磁気記憶装置であっても書き込み時の消費電力を低減可能であることは言うまでもない。また、第1～第9の実施形態では、強磁性トンネル接合を挟んで互いに交差する1対の配線の双方に磁性膜を設けたが、それら配線のいずれか一方のみに磁性膜を設けてもよい。この場合も、書き込み時の消費電力を低減することができる。

【0073】

【実施例】(実施例1) 図16に示す磁気記憶装置10を以下の方法により作製した。まず、Si/SiO₂基板上に、Ta下地層及び厚さ50nmのCu層を順次積層した(いずれも図示せず)。次に、Cu層上に、磁化固着層21として用いられる厚さ17nmのNi₈₁Fe₁₉層と厚さ12nmのIr₂₂Mn₇₈層と厚さ3nmのCo₅₀Fe₅₀層との複合膜；トンネルバリア層22として用いられる厚さ1nmのAl₂O₃層；磁気記録層23として用いられる厚さ3nmのCo₅₀Fe₅₀層と厚さ17nmのNi₈₁Fe₁₉層との複合膜；及び保護膜として用いられるAu層(図示せず)を順次形成した。

【0074】なお、これら薄膜の成膜にはスパッタリング法や蒸着法を用い、初期真空度は 3×10^{-8} Torrとした。また、Al₂O₃層は、スパッタリングターゲットとしてAlターゲットを用い、スパッタリングガスとして純Arガスを導入してAl膜を真空中で成膜した後、真空破壊することなく、このAl膜をプラズマ酸素に曝すことにより形成した。このような方法により、薄く且つ酸素欠損のないAl₂O₃層を形成することができた。

【0075】次に、上述した方法で形成した積層膜(Au層からCu層上のNi₈₁Fe₁₉層まで)を、フォトリ

ソグラフィ技術とイオンミリング技術とを用いて4μm×16μmのサイズにパターニングした。以上のようにして、強磁性トンネル接合35を形成した。

【0076】続いて、このパターニングに利用したレジストパターンを残したまま、電子ビーム蒸着により厚さ250nmのAl₂O₃膜を層間絶縁膜19として形成した。その後、このレジストパターンをリフトオフし、さらに、配線34を形成するためのレジストパターンを形成した。表面を逆スパッタすることによりクリーニングした後、Cu配線34を形成した。

【0077】次に、反応性スパッタリング法により、SiO₂からなる厚さ250nmの層間絶縁膜19を形成し、さらに、リフトオフプロセスによりAu配線33を形成した。その後、高飽和磁化ソフト磁性材料をスパッタリングし、それにより得られた薄膜をイオンミリングプロセスでパターニングすることにより、磁性膜18を形成した。以上のようにして、図16に示す磁気記憶装置10を作製し、磁場中熱処理炉で処理することにより、磁気記録層23に一軸異方性を、磁化固着層21に一方向異方性をそれぞれ付与した。

【0078】なお、高飽和磁化ソフト磁性材料としては下記表1に示す材料を用いて複数種の磁気記憶装置10を作製した。また、比較のために、磁性膜18を設けない磁気記憶装置、及び磁性膜18に高透磁率材料であるNi-Feを用いた磁気記憶装置も作製した。

【0079】上述した方法で作製した磁気記憶装置10のそれぞれについて、以下の方法により消費電力を測定した。すなわち、配線33に10nsecの電流パルスを送ることにより、磁気記録層23に容易軸方向26の電流磁場を作用させた。また、困難軸方向には、模擬的にヘルムホルツコイルを用いて200eの磁場を作用させた。電流パルスの電流値を徐々に増加させて、磁気記録層23の磁化が反転した電流I_cを記録した。なお、磁気記録層23の磁化が反転した否かは、強磁性1重トンネル接合35に直流電流を流して、出力電圧の変化を観測することにより判断した。その結果を、下記表1に併せて示す。

【0080】

【表1】

表 1

磁性膜の材料	I _c (mA)
Co ₉₀ Fe ₁₀	16
Co ₆₀ Fe ₂₀ Ni ₂₀	14
Co ₃₀ Fe ₃₀ Ni ₄₀	15
Co _{70.3} Fe _{4.7} Si ₁₅ B ₁₀	13
Co _{75.3} Fe _{4.7} Si ₄ B ₁₆	13
Co _{69.6} Fe _{4.6} Mo _{1.8} Si ₈ B ₁₅	13
Co ₇₀ Mn ₆ B ₂₄	14
Co _{81.5} Mo _{9.5} Zr ₉	15
Co ₉₆ Zr ₄	13
Co ₈₇ Nb ₅ Zr ₈	14
Co ₈₅ Nb _{7.5} Ti _{7.5}	14
Co ₉₀ Fe ₂ Nb ₈	13
Co ₆₀ Al ₁₀ O ₃₄	14
Fe ₅₈ V ₁₃ O ₂₉	16
Fe ₄₉ Al ₁₇ O ₃₄	16
Fe ₄₀ B ₂₅ N ₃₅	15
Fe ₅₉ Sm ₁₇ O ₂₄	17
なし	45
Ni ₈₁ Fe ₁₉	22
Ni ₆₀ Fe ₄₀	20

【0081】上記表1に示すように、本実施例に係る磁気記憶装置10では、磁性膜18を設けない場合に比べてI_cが低いのは勿論のこと、磁性膜18に高透磁率材料であるNi-Feを用いた場合と比較した場合においてもより低いI_cが得られた。すなわち、本実施例に係る磁気記憶装置10では書き込み時の消費電力が低減されていることを確認した。また、同様の試験を強磁性2重トンネル接合13を有する磁気記憶装置10についても行った。その結果、上述したのと同様の傾向が見られた。

【0082】（実施例2）図1（a）～（c）に示す磁気記憶装置10を以下の方法により作製した。まず、Si/SiO₂基板上に、プラズマCVD法によりSiO₂膜を形成した。次に、ダマシンプロセスを用いてSiO₂膜に磁性膜17及び配線14を形成した。

【0083】すなわち、ステップを用い、このSiO₂膜に矩形状の凹部を形成した。次に、この凹部の側壁及び底面を覆うように高飽和磁化ソフト磁性材料としてNi₄₀Fe₆₀をスパッタリングし、続いて、メッキ法により凹部をCuで充填した。その後、CMP法を用いて凹部の外側に位置する高飽和磁化ソフト磁性材料膜及びCu膜を除去することにより、磁性膜17及び配線14を形成した。

【0084】次に、Si/SiO₂基板の磁性膜17及び配線14を形成した面に、プラズマCVD法によりSiO₂からなる厚さ250nmの層間絶縁膜を形成した。この層間絶縁膜上に、Ta/W/Ta下地層及び厚さ50nmのCu層を順次積層した（いずれも図示せ

ず）。次に、Cu層上に、磁化固着層21として用いられる厚さ17nmのNi₈₁Fe₁₉層と厚さ12nmのIr₂₂Mn₇₈層と厚さ3nmのCo₅₀Fe₅₀層との複合膜；トンネルバリア層22として用いられる厚さ1nmのAl₂O₃層；磁気記録層23として用いられる厚さ2nmのCo₅₀Fe₅₀層と厚さ5nmのNi₈₁Fe₁₉層と厚さ2nmのCo₅₀Fe₅₀層との複合膜；トンネルバリア層24として用いられる厚さ1.2nmのAl₂O₃層；磁化固着層25として用いられる厚さ3nmのCo₅₀Fe₅₀層と厚さ12nmのIr₂₂Mn₇₈層と厚さ5nmのNi₈₁Fe₁₉層との複合膜；及び保護膜として用いられるAu層（図示せず）を順次形成した。

【0085】なお、これら薄膜の成膜にはスパッタリング法や蒸着法を用い、初期真空度は 3×10^{-8} Torrとした。また、Al₂O₃層は、実施例1で説明したのと同様の方法により形成した。

【0086】次に、上述した方法で形成した積層膜（Au層からCu層上のNi₈₁Fe₁₉層まで）を、ステップを用い、RIE技術及びイオンミリング技術により0.8μm×4μmのサイズにパターニングした。以上のようにして、強磁性トンネル接合35を形成した。

【0087】続いて、それぞれSiO₂及びSi₃N₄からなる互いにエッチング可能なハードマスクを用い、磁化固着層25として用いられるCo₅₀Fe₅₀層、Ir₂₂Mn₇₈層、及びNi₈₁Fe₁₉層との複合膜及び及び保護膜として用いられるAu層を0.8μm×2μmのサイズにパターニングした。

【0088】その後、プラズマCVD法によりSiO₂

からなる層間絶縁膜 19 を形成し、CMP 法によりその表面を平坦化して Si_3N_4 パターンの上面を露出させた。なお、CMP 後の SiO_2 層間絶縁膜 19 の厚さは 250nm とした。次に、 Si_3N_4 パターンを RIE 法により除去して凹部を形成し、この凹部内に Cu 配線 15 を形成した。

【0089】次に、 SiO_2 層間絶縁膜 19 上にハードマスクとして Si_3N_4 パターンを形成し、RIE 法により、 SiO_2 層間絶縁膜 19 に磁性膜 18 のための溝部を形成した。すなわち、底面がトンネルバリア層 24 で構成されたトレンチ構造を形成した。次に、 Si_3N_4 パターンを RIE 法により除去し、磁性膜 18 と磁気記録層 23 及び配線 15 との短絡を防止するためにそれらの露出面をプラズマ酸化した。その後、指向性の高いスパッタリング装置を用いて、上述した方法で形成した溝部が埋め込まれるように高飽和磁化ソフト磁性材料として $\text{Ni}_{40}\text{Fe}_{60}$ をスパッタリングし、得られた薄膜をイオンミリング技術を用いてパターニングすることにより磁性膜 18 を形成した。

【0090】以上のようにして、図 1 (a) ~ (c) に示す磁気記憶装置 10 を作製し、磁場中熱処理炉で処理することにより、磁気記録層 23 に一軸異方性を、磁化固着層 21、25 に一方向異方性をそれぞれ付与した。

【0091】なお、磁性膜 17 を設けなかったこと以外

表 2

磁気記憶素子の構造	磁性膜 17	I_c (mA)
図 1 (a) ~ (d)	有	3.5
図 1 (a) ~ (d)	無	5.1
図 12	有	17.5
図 12	無	19

【0094】上記表 2 に示すように、トレンチ構造を有する [図 1 (a) ~ (c) に示す構造の] 本実施例に係る磁気記憶装置 10 では、トレンチ構造を有しておらず (図 12 に示す構造を有しており)、磁性膜 17、18 と磁気記録層 23 との距離が長い磁気記憶装置 10 に比べて I_c が低く、書き込み時の消費電力が低減されていることを確認した。また、磁性膜 17 を設けた磁気記憶装置 10 では、困難軸方向に作用させる磁場が増大するため、磁性膜 17 を設けていない磁気記憶装置 10 に比べて、容易軸方向 26 の I_c がより小さくなり、書き込み時の消費電力をさらに低減可能であることを確認した。

は同様の方法により図 1 (a) ~ (c) に示す磁気記憶装置 10 を作製した。また、比較のために、磁性膜 17、強磁性 2 重トンネル接合 13、及び磁性膜 18 に図 11 に示す構造を採用した磁気記憶装置と、磁性膜 17 は設けずに強磁性 2 重トンネル接合 13 及び磁性膜 18 に図 12 に示す構造を採用した磁気記憶装置とを作製した。これら比較用の磁気記憶装置において、磁性膜 17、18 と磁気記録層 23 との距離は $0.15\mu\text{m}$ とした。

【0092】上述した方法で作製した磁気記憶装置 10 のそれぞれについて、以下の方法により消費電力を測定した。すなわち、配線 14、15 に 10nsec の電流パルスを送ることにより、磁気記録層 23 に容易軸方向 26 及び困難軸方向の電流磁場をそれぞれ作用させた。なお、配線 14 に流した電流パルスの電流値は 5mA とした。配線 15 に流す電流パルスの電流値を徐々に増加させて、磁気記録層 23 の磁化が反転した電流 I_c を記録した。なお、磁気記録層 23 の磁化が反転した否かは、書き込みを行った後、強磁性 2 重トンネル接合 13 に直流電流を流して、出力電圧の変化を観測することにより判断した。その結果を、下記表 2 に示す。

【0093】

【表 2】

【0095】(実施例 3) 強磁性 2 重トンネル接合 13 を下記表 1 に示す構成とし、磁性膜 17、18 に下記表 3 及び表 4 に示す材料を用いたこと以外は実施例 2 と同様の方法により図 1 (a) ~ (c) に示す磁気記憶装置 10 を作製した。以上のようにして作製した磁気記憶装置 10 のそれぞれについて、配線 14 に流す電流パルスの電流値を 3mA としたこと以外は同様の方法により消費電力を測定した。その結果も表 3 及び表 4 に併せて示す。

【0096】

【表 3】

表 3

強磁性 2 重トンネル接合の構造	磁性層の材料	I_c (mA)
PtMn/CoFe/AlN/Fe ₅₅ Co ₄₅ /AlN/CoFeNi/PtMn (17nm/3nm/2nm/5nm/2.6nm/3nm/19nm)	Co ₉₀ Fe ₁₀	2.5
	Co ₇₀ .3Fe ₄ .7Si ₁₅ B ₁₀	2.1
	Co ₉₀ Fe ₂ Nb ₈	2.2
Ir ₂₂ Mn ₇₈ /CoFe/Al ₂ O ₃ /Fe ₁₀ Co ₉₀ /Al ₂ O ₃ /CoFe/Ir ₂₂ Mn ₇₈ (15nm/3nm/1.2nm/3nm/1.4nm/5nm/20nm)	Co ₃₀ Fe ₃₀ Ni ₄₀	2
	Co ₆₉ .6Fe ₄ .6Mo ₁ .8Si ₈ B ₁₅	1.9
	Co ₆₀ Al ₁₀ O ₃₄	2.1
NiMn/CoFe/SiO ₂ /CoFe/Ni ₈₁ Fe ₁₉ /CoFe/SiO ₂ /CoFe/NiMn (19nm/3nm/1.8nm/2nm/4nm/2nm/5nm/20nm)	Co ₉₀ Fe ₁₀	2
	Co ₆₉ .6Fe ₄ .6Mo ₁ .8Si ₈ B ₁₅	2
	Fe ₄₉ Al ₁₇ O ₃₄	2.1
Ir ₂₂ Mn ₇₈ /CoFeNi/Al ₂ O ₃ /FeCo ₂ Ni/Al ₂ O ₃ /CoFeNi/Ir ₂₂ Mn ₇₈ (15nm/2nm/1.0nm/5nm/1.2nm/3nm/17nm)	Co ₆₀ Fe ₂₀ Ni ₂₀	2.4
	Co ₇₀ .3Fe ₄ .7Si ₁₅ B ₁₀	2.2
	Co ₈₅ Nb ₇ .5Ti ₇ .5	2.1
Ir ₂₂ Mn ₇₈ /CoFeNi/Al ₂ O ₃ /FeCo/Ni ₈₁ Fe ₁₉ /FeCo/Al ₂ O ₃ /CoFeNi/Ir ₂₂ Mn ₇₈ (15nm/2nm/1.0nm/3nm/5nm/3nm/1.2nm/3nm/17nm)	Co ₉₀ Fe ₁₀	2
	Co ₇₅ .3Fe ₄ .7Si ₄ B ₁₆	1.9
	Co ₉₀ Fe ₂ Nb ₈	1.9
Ir ₂₂ Mn ₇₈ /CoFe/Al ₂ O ₃ /FeCo/Ru/Fe ₃ Co ₇ /Al ₂ O ₃ /CoFe/Ir ₂₂ Mn ₇₈ (15nm/2nm/1.0nm/3nm/0.7nm/5nm/1.2nm/3nm/17nm)	Co ₆₀ Fe ₂₀ Ni ₂₀	1.8
	Co ₉₆ Zr ₄	1.7
	Fe ₄₀ B ₂₅ N ₃₅	1.7

表 4

強磁性 2 重トンネル接合の構造	磁性膜の材料	I _c (mA)
Ir ₂₂ Mn ₇₈ /CoFe/1r/FeCo/Al ₂ O ₃ /FeCo/1r/FeCo/1r ₂₂ Mn ₇₈ (15nm/2nm/0.8nm/3nm/1.0nm/3nm/0.8nm/3nm/0.8nm/3nm/17nm)	Co ₉₀ Fe ₁₀	1.6
	Co ₇₀ .3Fe ₄ .7Si ₁₅ B ₁₀	1.5
	Co ₈₅ Nb ₇ .5Ti ₇ .5	1.5
Ir ₂₂ Mn ₇₈ /CoFe/Ru/FeCo/Al ₂ O ₃ /FeCo/Ru/FeCo/1r ₂₂ Mn ₇₈ (15nm/2nm/0.7nm/3nm/1.0nm/3nm/0.7nm/5nm/1.2nm/3nm/0.7nm/3nm/17nm)	Co ₃₀ Fe ₃₀ Ni ₄₀	1.7
	Co ₆₉ .6Fe ₄ .6Mo ₁ .8Si ₈ B ₁₅	1.5
	Fe ₄₉ Al ₁₇ O ₃₄	1.9
Ir ₂₂ Mn ₇₈ /CoFe/Ru/FeCo/Al ₂ O ₃ /FeCo/Ni ₈ Fe ₂ /CoFe/Ru/FeCo/Al ₂ O ₃ /CoFe/Ru/FeCo/1r ₂₂ Mn ₇₈ (12nm/2nm/0.7nm/2nm/1.0nm/2nm/2nm/2nm/0.7nm/2nm/4nm/2nm/1.2nm/3nm/0.7nm/3nm/12nm)	Co ₃₀ Fe ₃₀ Ni ₄₀	1.8
	Co ₇₀ Mn ₆ B ₂₄	1.6
	Co ₆₀ Al ₁₀ O ₃₄	1.7
PtMn/CoFe/Ru/FeCo/Al ₂ O ₃ /FeCo/Ni ₈ Fe ₂ /CoFe/Ru/FeCo/Al ₂ O ₃ /CoFe/Ru/FeCo/PtMn (15nm/2nm/0.7nm/2nm/1.0nm/2nm/2nm/2nm/0.7nm/2nm/5nm/2nm/1.2nm/3nm/0.7nm/3nm/17nm)	Co ₉₀ Fe ₁₀	1.4
	Co ₇₅ .3Fe ₄ .7Si ₄ B ₁₆	1.3
	Fe ₄₀ B ₂₅ N ₃₅	1.4
Ir ₂₂ Mn ₇₈ /CoFe/Ru/FeCo/Al ₂ O ₃ /FeCo/Ni ₄ Fe ₆ /CoFe/Ru/FeCo/Al ₂ O ₃ /CoFe/Ru/FeCo/1r ₂₂ Mn ₇₈ (15nm/2nm/0.7nm/2nm/1.0nm/2nm/3nm/2nm/0.7nm/2nm/4nm/2nm/1.2nm/3nm/0.7nm/3nm/17nm)	Co ₆₀ Fe ₂₀ Ni ₂₀	1.4
	Co ₉₆ Zr ₄	1.3
	Co ₈₅ Nb ₇ .5Ti ₇ .5	1.2

【0098】上記表 3 及び表 4 に示すように、いずれの場合も I_c は十分に低い、磁性膜 17、18 を Co 元素を含有する高飽和磁化ソフト磁性材料膜や金属-非金属ナノグラニューラ膜で構成した場合に特に I_c が低く、書き込み時の消費電力がさらに低減されることが分かる。また、強磁性層/非磁性層/強磁性層の三層膜を用い、それら強磁性層間に非磁性層を介して反強磁性的な相互作用が働く場合、I_c は増加せず、消費電力をより

低減できることも分かる。

【0099】

【発明の効果】以上説明したように、本発明では、磁性膜を所定の材料で構成することにより、磁気記憶装置の書き込みに要する消費電力の低減を可能としている。また、本発明では、磁性膜を用い且つ所定の構造を採用することにより、強磁性 2 重トンネル接合を有する磁気記憶装置においても、書き込みに要する消費電力の低減を

可能としている。すなわち、本発明によると、書き込み時の消費電力が低減された磁気記憶装置が提供される。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 (a) は本発明の第 1 の実施形態に係る磁気記憶装置を概略的に示す断面図、(b) は (a) に示す磁気記憶装置の A-A 線に沿った部分断面図、(c) は (b) に示す構造を拡大して描いた断面図、(d) は (a) に示す磁気記憶装置の一部を概略的に示す斜視図。

【図 2】 (a), (b) は、それぞれ、図 1 (a) ~ (d) に示す構造の変形例を概略的に示す断面図。

【図 3】 磁気抵抗効果膜の長さ L_1 に対する磁性膜の長さ L_2 の比 L_2/L_1 と磁界強度 H_x との関係を示すグラフ。

【図 4】 本発明の第 1 の実施形態に係る磁気記憶装置の回路構成の一例を示す回路図。

【図 5】 本発明の第 1 の実施形態に係る磁気記憶装置の回路構成の他の例を示す回路図。

【図 6】 図 5 に示す回路構成を採用した場合の磁気記憶素子の構造の一例を概略的に示す斜視図。

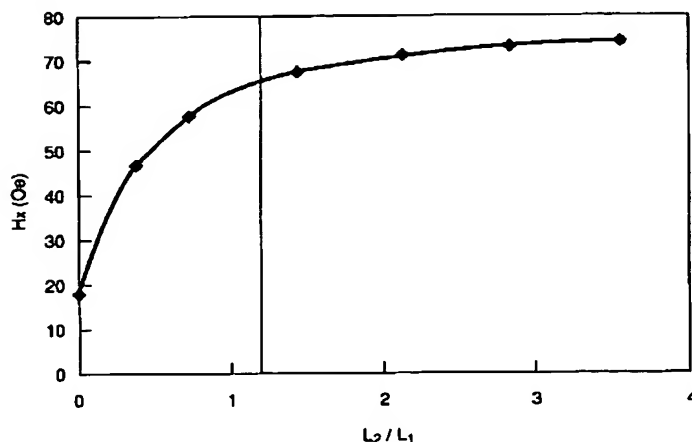
【図 7】 (a) は本発明の第 2 の実施形態に係る磁気記憶装置を概略的に示す断面図、(b) は (a) に示す磁気記憶装置の B-B 線に沿った部分断面図。

【図 8】 (a) は本発明の第 3 の実施形態に係る磁気記憶装置を概略的に示す断面図で、(b) は (a) に示す磁気記憶装置の C-C 線に沿った部分断面図。

【図 9】 (a) は本発明の第 4 の実施形態に係る磁気記憶装置を概略的に示す断面図で、(b) は (a) に示す磁気記憶装置の D-D 線に沿った部分断面図。

【図 10】 本発明の第 5 の実施形態に係る磁気記憶装置の一部を概略的に示す断面図。

【図 3】



【図 11】 本発明の第 6 の実施形態に係る磁気記憶装置の一部を概略的に示す断面図。

【図 12】 本発明の第 7 の実施形態に係る磁気記憶装置の一部を概略的に示す断面図。

【図 13】 (a) は本発明の第 8 の実施形態に係る磁気記憶装置を概略的に示す断面図、(b) は (a) に示す磁気記憶装置の E-E 線に沿った部分断面図。

【図 14】 (a), (b) は、それぞれ、本発明の第 8 の実施形態に係る磁気記憶装置の配線及び磁性膜の構造の例を概略的に示す断面図。

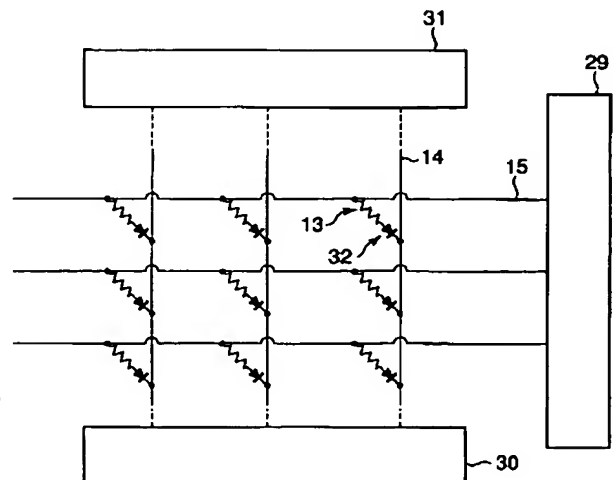
【図 15】 (a) ~ (c) は、それぞれ、本発明の第 8 の実施形態に係る磁気記憶装置の配線及び磁性膜の構造の例を概略的に示す断面図。

【図 16】 本発明の第 9 の実施形態に係る磁気記憶装置の一部を概略的に示す断面図。

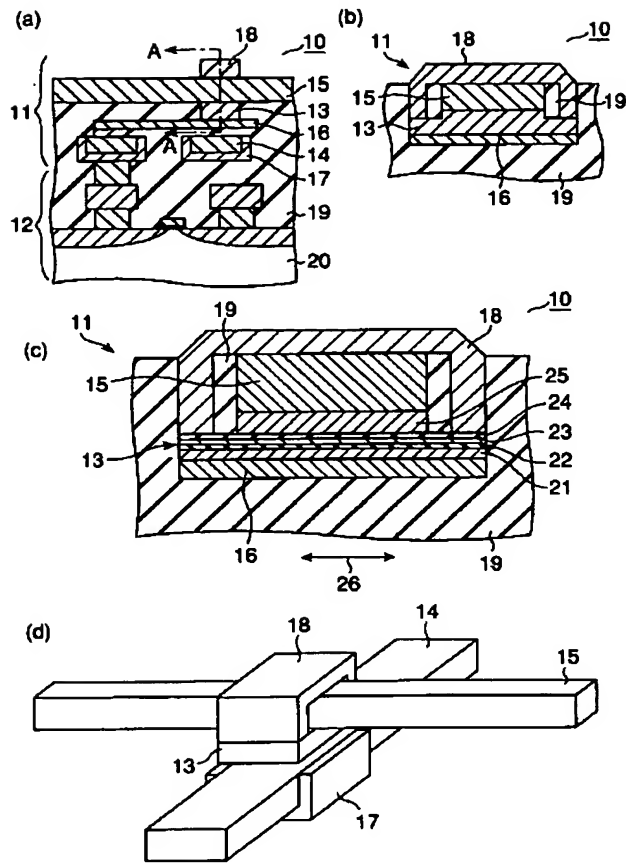
【符号の説明】

- 10…磁気記憶装置
- 11…磁気記憶素子
- 12…トランジスタ
- 13, 35…強磁性トンネル接合
- 14~16, 27, 28, 33, 34…配線
- 17, 18…磁性膜
- 19…層間絶縁膜
- 20…基板
- 26…磁化容易軸
- 21, 25…磁化固着層
- 22, 24…トンネルバリア層
- 23…磁気記録層
- 29, 30…デコーダ
- 31…センスアンプ

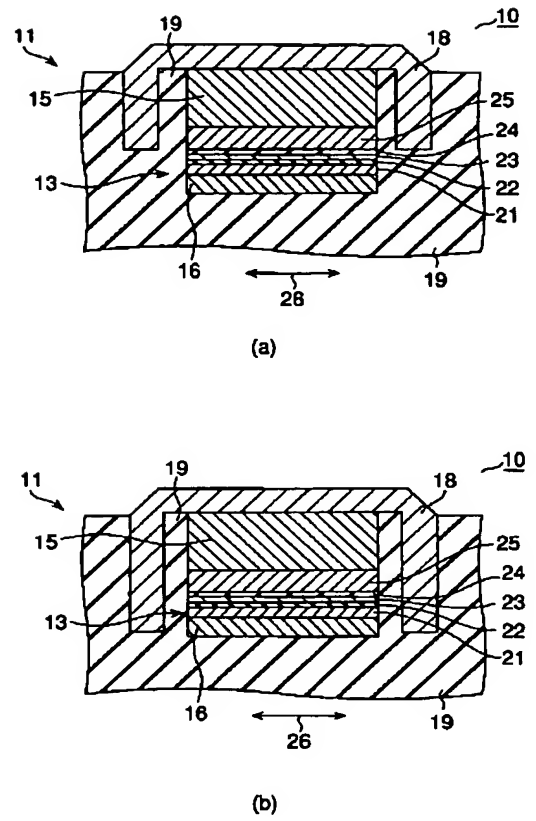
【図 5】



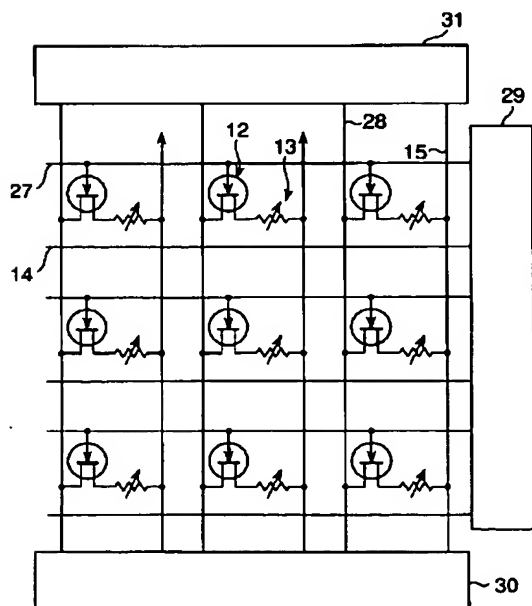
【図 1】



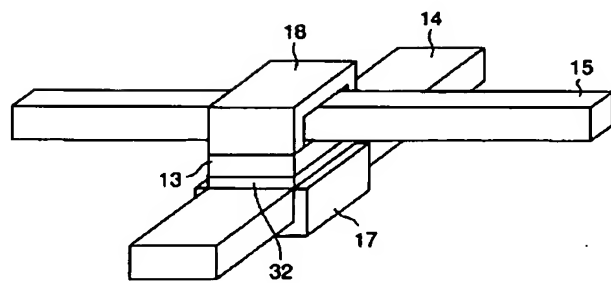
【図 2】



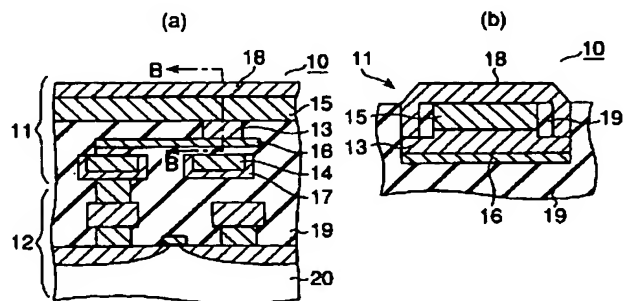
【図 4】



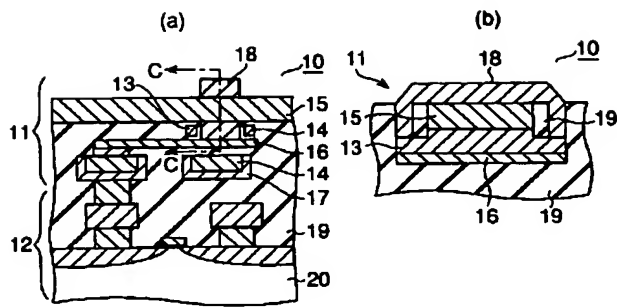
【図 6】



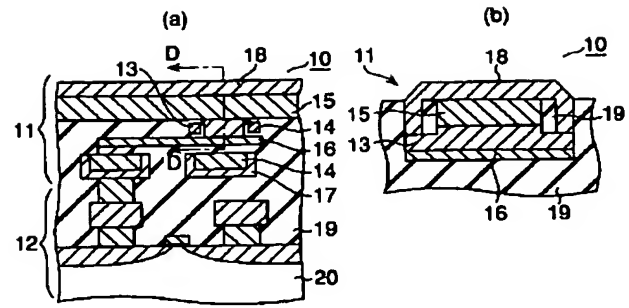
【図 7】



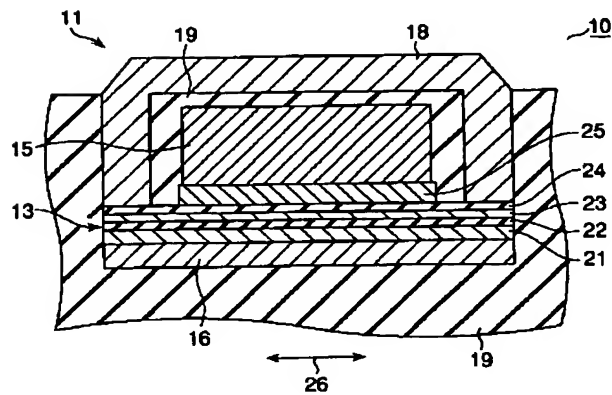
【図 8】



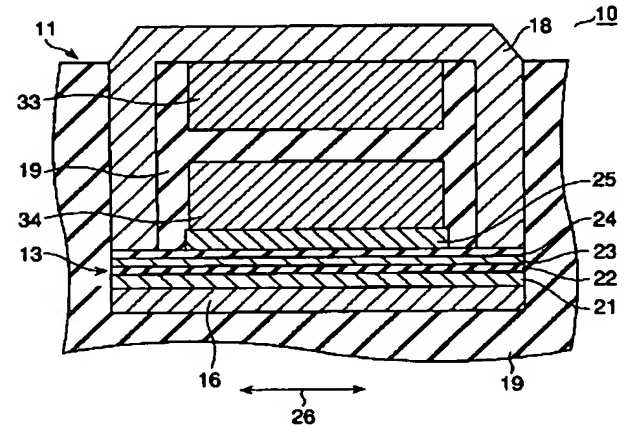
【図 9】



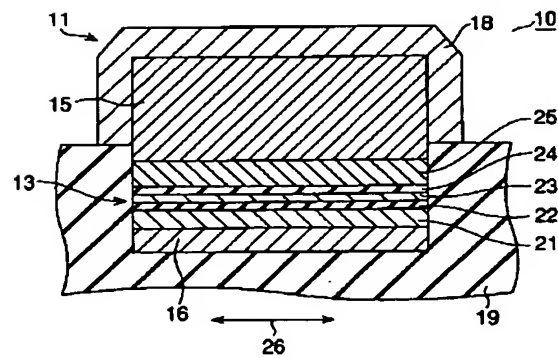
【図 10】



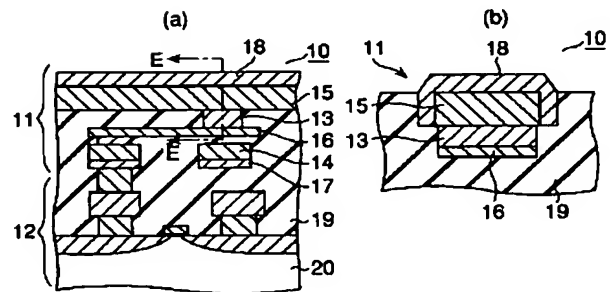
【図 11】



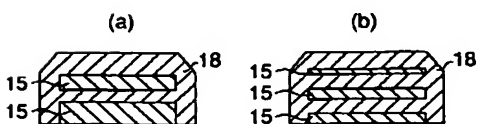
【図 12】



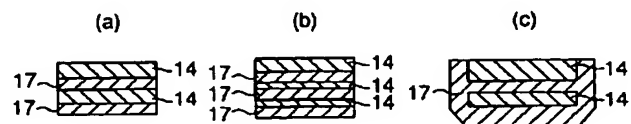
【図 13】



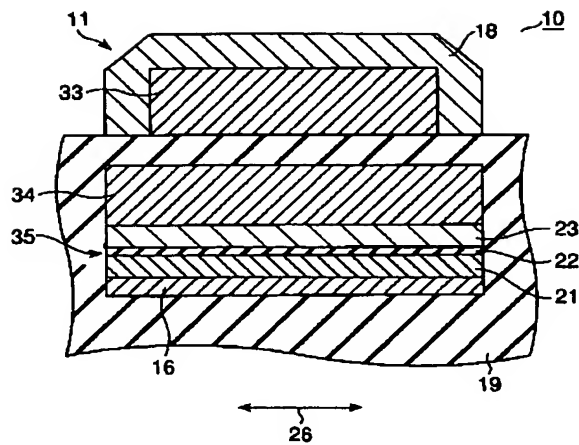
【図 14】



【図 15】



【図 16】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. ⁷

識別記号

F I

テーマコード (参考)

H O I F 10/26

H O I L 43/08

Z

H O I L 43/08

27/10

4 4 7

(72) 発明者 天野 実

神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株
式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 高橋 茂樹

神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株
式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 砂井 正之

神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株
式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 岸 達也

神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株
式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 中島 健太郎

神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株
式会社東芝研究開発センター内

F ターム (参考) 5E049 AA04 AA09 AC01 AC05 BA16
DB14

5F083 FZ10 GA05 JA31 JA37 JA39

JA56 JA60 LA27 MA06 MA16

MA19 PR00 PR04 PR21 PR22